

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-084285

(43)Date of publication of application : 26.03.1999

(51)Int.Cl. G02B 26/10
G02B 13/00
G02B 13/18

(21)Application number : 09-248416

(71)Applicant : MINOLTA CO LTD

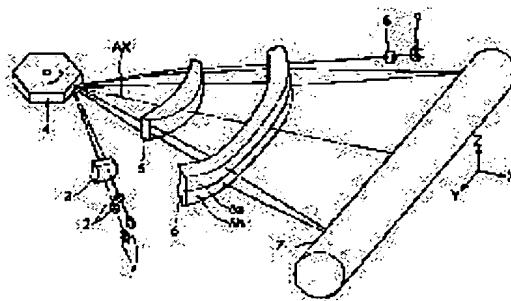
(22)Date of filing : 12.09.1997

(72)Inventor : TATEBE HIDENARI
SHIBATA ETSUKO
ONO OSAMU

(54) SCANNING LENS SYSTEM**(57)Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a scanning lens system capable of performing scanning whose beam interval is small with good stable beam positional accuracy.

SOLUTION: The surface of a second scanning lens 6 constituting the scanning lens system on the side of a surface 7 to be scanned is constituted of two extended toric surfaces 6a and 6b. The surfaces 6a and 6b are symmetric shape with respect to a surface in parallel with a scanning surface (XY planar surface), and a bus line interval becomes small as a scanning angle becomes large. The surfaces 6a and 6b are eccentric to a sub-scanning direction (Z-axis direction), and the respective bus lines are twisted in the sub-scanning direction.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japanese Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-84285

(43) 公開日 平成11年(1999) 3月26日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

G 0 2 B 26/10

G 0 2 B 26/10

B

13/00

13/00

13/18

13/18

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平9-248416

(22) 出願日 平成9年(1997) 9月12日

(71) 出願人 000006079

ミノルタ株式会社

大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号

大阪国際ビル

(72) 発明者 立部 秀成

大阪市中央区安土町二丁目3番13号 大阪

国際ビル ミノルタ株式会社内

(72) 発明者 芝田 悦子

大阪市中央区安土町二丁目3番13号 大阪

国際ビル ミノルタ株式会社内

(72) 発明者 小野 理

大阪市中央区安土町二丁目3番13号 大阪

国際ビル ミノルタ株式会社内

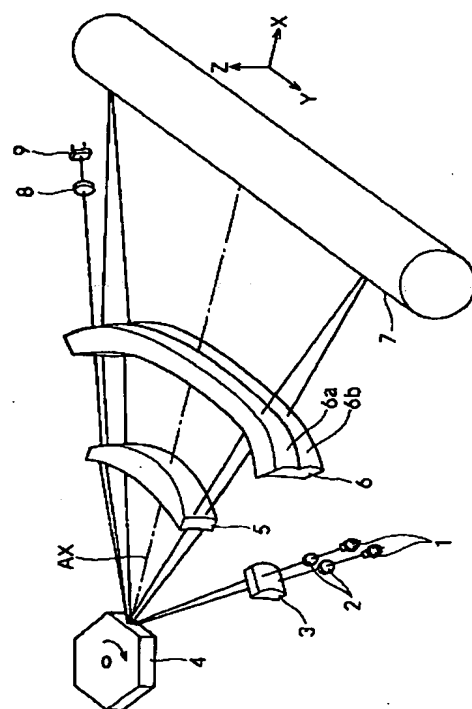
(74) 代理人 弁理士 佐野 静夫

(54) 【発明の名称】 走査レンズ系

(57) 【要約】

【課題】 ビーム間隔の狭い走査を良好かつ安定なビーム位置精度で行うことができる走査レンズ系を提供する。

【解決手段】 走査レンズ系を構成している第2走査レンズ6の被走査面7側面は、2つの拡張トーリック面6a、6bから成っている。拡張トーリック面6a、6bは、走査面(XY平面)に平行な面に対して対称な形状であって、走査角が大きくなるにつれて母線間隔が小さくなる形状になっている。拡張トーリック面6a、6bは副走査方向(Z軸方向)に偏心しており、各母線は副走査方向にねじれている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 偏向された複数のビームを被走査面上で結像走査させる走査レンズ系であって、当該走査レンズ系が、前記複数のビームのそれぞれに対応するように副走査方向に並んだ複数の拡張トーリック面から成る形状の光学面を備え、前記複数の拡張トーリック面が走査面に平行な面に対して対称な形状であるとともに、各拡張トーリック面の母線が走査面に垂直な方向にねじれていることを特徴とする走査レンズ系。

【請求項2】 前記各拡張トーリック面の母線間隔が、走査角が大きくなるにつれて小さくなることを特徴とする請求項1に記載の走査レンズ系。

【請求項3】 前記光学面以外の面が、平面、軸対称面、トーリック面又はシリンダ面であることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の走査レンズ系。

【請求項4】 一方の面が前記光学面であり、その反対側の面が平面、軸対称面、トーリック面又はシリンダ面である、レンズを有することを特徴とする請求項1、請求項2又は請求項3に記載の走査レンズ系。

【請求項5】 樹脂で一体成形され、かつ、前記光学面が設けられたレンズを有することを特徴とする請求項1、請求項2、請求項3又は請求項4に記載の走査レンズ系。

【発明の詳細な説明】**【0001】**

【発明の属する技術分野】 本発明は、走査レンズ系に関するものであり、更に詳しくは、プリンター、ファクシミリ等に用いる走査レンズ系に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 光学要素が副走査方向に並んで配置された走査レンズ系が、特開平1-164917号公報、特開平2-167521号公報、特開昭64-72118号公報で提案されている。特開平2-167521号公報、特開昭64-72118号公報で提案されている走査レンズ系では、1つの光路中の2つの光学部品が一体的に構成されている。これに対し、特開平1-164917号公報で提案されている走査レンズ系では、2つのレーザー光源とそれぞれ対応するように、同じ形状のレンズが副走査方向に重なって配置されている。これにより、各レーザー光源から発せられたレーザービームは、重ね合わされることなく別光路を構成し、被走査面上でそれぞれ結像する。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 特開平1-164917号公報で提案されている走査レンズ系によると、2本のレーザービームの間隔がレーザー光源の間隔だけ離れてしまう。このようにビーム間隔が広いと、感光体ドラムの回転ムラ等の影響によってピッチムラ等が発生しやすい。また、各光路が別体の光学要素で構成されている

ため、ビーム位置精度が低く、ビーム間隔が安定しにくい。

【0004】 本発明は上記のような点に鑑みてなされたものであって、その目的は、ビーム間隔の狭い走査を良好かつ安定なビーム位置精度で行うことができる走査レンズ系を提供することにある。

【0005】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成するため、第1の発明の走査レンズ系は、偏向された複数のビームを被走査面上で結像走査させる走査レンズ系であって、当該走査レンズ系が、前記複数のビームのそれぞれに対応するように副走査方向に並んだ複数の拡張トーリック面から成る形状の光学面を備え、前記複数の拡張トーリック面が走査面に平行な面に対して対称な形状であるとともに、各拡張トーリック面の母線が走査面に垂直な方向にねじれていることを特徴とする。

【0006】 第2の発明の走査レンズ系は、上記第1の発明の構成において、前記各拡張トーリック面の母線間隔が、走査角が大きくなるにつれて小さくなることを特徴とする。

【0007】 第3の発明の走査レンズ系は、上記第1又は第2の発明の構成において、前記光学面以外の面が、平面、軸対称面、トーリック面又はシリンダ面であることを特徴とする。

【0008】 第4の発明の走査レンズ系は、上記第1、第2又は第3の発明の構成において、一方の面が前記光学面であり、その反対側の面が平面、軸対称面、トーリック面又はシリンダ面である、レンズを有することを特徴とする。

【0009】 第5の発明の走査レンズ系は、上記第1、第2、第3又は第4の発明の構成において、樹脂で一体成形され、かつ、前記光学面が設けられたレンズを有することを特徴とする。

【0010】

【発明の実施の形態】 以下、本発明を実施した走査レンズ系を、図面を参照しつつ説明する。図1に、第1の実施の形態が用いられた走査光学系の概略構成を示す。この走査光学系は、2つのレーザー光源1と、2つの集光レンズ(又はコリメータレンズ)2と、1つのシリンダ形カルレンズ3と、1つのポリゴンミラー(偏向器)4と、第1走査レンズ5及び第2走査レンズ6から成る走査レンズ系と、を備えている。さらに、書き出し位置検出用のレーザービームを集光させるSOS(Start Of Scanning)レンズ8と、集光レンズ8で集光されたレーザービームを受光するSOSセンサ9と、が配置されている。なお、第1走査レンズ5の光軸AX方向をX軸方向、主走査方向をY軸方向、副走査方向をZ軸方向として、X、Y、Z軸方向が互いに直交するものとする。

【0011】 各レーザー光源1から発せられたレーザービームは、集光レンズ2とシリンダ形カルレンズ3を通

過した後、ポリゴンミラー4で偏向反射される。ポリゴンミラー4で偏向反射された各レーザービームは、被走査面(感光体ドラム)7上で主・副走査方向について集光するとともに、被走査面7上をほぼ等速度で移動することにより、画像(潜像)を形成する。

【0012】図2に、第2走査レンズ6の外観を示し、図3(A)に第2走査レンズ6の副走査断面を示し、図3(B)に第2走査レンズ6を被走査面7側から見た正面を示す。図2、図3から分かるように、第2走査レンズ6の被走査面7側の面は、2本のレーザービームのそれぞれに対応するように副走査方向(Z軸方向)に並んだ2つの拡張トーリック面6a、6bから成る形状を有している。

【0013】図3中、Lは拡張トーリック面6aと拡張トーリック面6bとの境界線、Laは拡張トーリック面6aの母線、Lbは拡張トーリック面6bの母線である。また、シリンドリカルレンズ3と、第1走査レンズ5と、拡張トーリック面6a、6bの反対側面(すなわち、第2走査レンズ6のビーム入射側面)と、は共軸光学系を成しており、第1走査レンズ5の光軸AXは各面の回転対称軸と一致している。

【0014】図4に、第1の実施の形態が用いられた走査光学系の副走査断面を示す。各レーザー光源1内にはカバーガラス(不図示)が内蔵されており、図4中、 $si(i=1,2,3,\dots)$ が付された面は、各レーザー光源1内の発光点(不図示)側から数えてi番目の面である。また、*印が付された面 si は非球面、#印が付された面 si は拡張トーリック面であり、2つの拡張トーリック面6a、6bから成る面 $si1$ 以外の面は、平面、軸対称面、トーリック面又はシリンダ面である。第1の実施の形態では、各レーザー光源1から放射され集光レンズ2を通過したレーザービームが、シリンドリカルレンズ3の軸外を通過するため、ポリゴンミラー4の反射面s7に対して斜入射する。

【0015】図3から分かるように、2つの拡張トーリック面6a、6bは、走査面(XY平面)に平行な面(境界線Lと光軸AXとを含む平面)に対して対称な形状(つまり、母線Laと母線Lbとが境界線Lに対して対称)であって、走査角が大きくなるにつれて母線La、Lbの間隔が小さくなるような形状になっている。また、各拡張トーリック面6a、6bは、走査面(XY平面)に対して垂直方向(副走査方向)に偏心しており、各拡張トーリック面6a、6bの母線La、Lbは副走査方向にねじれている。

【0016】各拡張トーリック面6a、6bは、副走査方向の屈折力が最も大きく、また上記のように、各拡張トーリック面6a、6bに偏心及び各母線La、Lbのねじれを持っている。このため、第2走査レンズ6上で副走査方向に離れた2本のレーザービームを、被走査面7上でのレーザービームの傾きを抑えながら、被走査面

7上では近接の位置にもっていくことが可能である。したがって、被走査面7上でのビーム間隔を画素の間隔とほぼ等しくすることができ、さらに、その時に発生するボウと呼ばれる走査ラインの副走査方向の曲がりを補正することができる。

【0017】第2走査レンズ6のビーム入射側面 $si0$ は、副走査方向(Z軸方向)の屈折力が小さくなっている。このように副走査方向に屈折力の小さい面を、2本のレーザービームに共用することによって、加工精度が安定し、性能のバラツキ等が抑えられる。また、上下2段に拡張トーリック面形状を有する第2走査レンズ6は、樹脂で一体成形されている。このように拡張トーリック面6a、6bの形状を一体的に作ると、組立等の相対的な位置誤差が発生しなくなるため、それぞれの走査位置・間隔を高い精度で安定させることができる。

【0018】図5に、第2の実施の形態が用いられた走査光学系の副走査断面を示す。第2の実施の形態は、各レーザービームに対応するように副走査方向に並んだ2つのシリンドリカルレンズ3Wが用いられているほかは、第1の実施の形態と同様に構成されている。各レーザー光源1から放射され集光レンズ2を通過したレーザービームが、それぞれシリンドリカルレンズ3Wの軸上を通過するため、レーザービームは2本共ポリゴンミラー4の反射面に対して平行に入射する。

【0019】図6に、第1の比較例が用いられた走査光学系の副走査断面を示す。第1の比較例は、第2走査レンズ6Aが用いられているほかは、第1の実施の形態と同様に構成されている。この第2走査レンズ6Aの被走査面7側面は、拡張トーリック面のようにアナモフィックで副走査方向に大きな屈折力を持つ面である。したがって、その母線から大きく離れた位置を各レーザービームが通過することになり、このため、被走査面7上では各レーザービームに傾きが生じてしまう。

【0020】図7に、第2の比較例が用いられた走査光学系の副走査断面を示す。第2の比較例は、各レーザービームに対応するように副走査方向に並んだ2つの第1走査レンズ5W及び第2走査レンズ6Wが用いられているほかは、第2の実施の形態と同様に構成されている。このように、2本の光路が平行に配置される光学系においては、ポリゴンミラー4の反射面のZ軸方向の幅が大きくなるため、精度が出にくく、コストが高くなる。さらに、走査レンズ系がレーザー光源1の数だけ必要になるため、加工上の形状精度を揃えたりビーム位置精度を相対的に調整したりすることが必要になる。また性能面においても、被走査面7上でのビーム間隔が広くなるため、感光体ドラムの回転ムラによってピッチムラが発生しやすくなる。

【0021】

【実施例】以下、本発明を実施した走査レンズ系の構成を、コンストラクションデータ(片側光路の光学系のコ

ンストラクショナルデータ)等を挙げて、更に具体的に説明する。ここで挙げる実施例は、前述した第1の実施の形態を備えた走査光学系に対応しており、第1の実施の形態を表すレンズ構成図(図1～図4)は、以下に示す実施例のレンズ構成をそれぞれ示している。

【0022】コンストラクショナルデータ中、 s_i ($i=1, 2, \dots$)はレーザー光源1の発光点(不図示)側から数えて i 番目の面、 r_i ($i=1, 2, \dots$)は i 番目の面 s_i の曲率半径、 r_{5M} は5番目の面 s_5 の主走査方向の曲率半径、 r_{5S} は5番目の面 s_5 の副走査方向の曲率半径、 d_i ($i=1, 2, \dots$)はレーザー光源1の発光点側から数えて i 番目の面間隔、 N_i ($i=1, 2, \dots$)はレーザー光源1の発光点側から数えて i 番目のレンズの、波長780nmのレーザービームに対する屈折率である。また、ODはレーザー光源1の発光点から第1

$$X = \frac{c \cdot (Y^2 + Z^2)}{1 + \{1 - \epsilon \cdot c^2 \cdot (Y^2 + Z^2)\}^{1/2}} + \sum_{i=4}^{10} (a_i) \cdot (Y^2 + Z^2)^{i/2} \dots \textcircled{1}$$

【0025】ただし、式①中、

X : 光軸方向の座標、

Y : 主走査方向の座標、

Z : 副走査方向の座標、

c : 近軸曲率、

ϵ : 離心率、

a_i : i 次の非球面係数

である。

【0026】また、#印が付された面 s_i (すなわち、第11番目の面 s_{11})は、以下の拡張トーリック面の一般式②によって定義される。ただし、式②は、3次元座標空間(X, Y, Z)で定義されているものとする。

【0027】

$$X = [\kappa \cdot Y^2 / \{1 + (1 - \mu \cdot \kappa^2 \cdot Y^2)^{1/2}\}] + \rho + A \dots \textcircled{2}$$

ただし、式②中の κ 、 ρ は以下の式②、③で表され、式②中のAは次の式⑤で表される。ただし、式⑤中、 a_0 、 $0 \equiv 0$ 、 $a_{i,1} \equiv 0$ 、 $a_{1,j} \equiv 0$ である。

$$\kappa = K / (1 - K \cdot \rho) \dots \textcircled{3}$$

$$\rho = C \cdot Z^2 / \{1 + (1 - \epsilon \cdot C^2 \cdot Z^2)^{1/2}\} \dots \textcircled{4}$$

【0028】

《実施例のコンストラクショナルデータ》

OD=-0.20150(mm)

λ =780(nm)

[面] [曲率半径]

[面間隔]

[屈折率]

s1 r1= ∞

d1= 0.30000 N1=1.51118 …カバーガラス

s2 r2= ∞

d2= 11.25892

s3 r3= ∞

d3= 2.80000 N2=1.78571 …集光レンズ2

s4* r4= -10.21420

d4= 13.64108

s5 r5M= ∞

r5S= 29.63700

面 s_1 までの距離であり、 λ は設計波長である。第4面 s_4 の平行偏心データ及び第11面 s_{11} の平行偏心・傾き偏心データを併せて示す。ZPは光軸AXを基準としたZ軸方向への平行偏心量であり、XQ、ZQはY軸回りの傾き偏心量であり、XQがX軸方向への射影、ZQがZ軸方向への射影である。

【0023】*印が付された面 s_i は、軸対称非球面で構成された面であることを示し、その面形状は、レンズの面頂点を原点とする、X、Y、Z軸についての座標(X, Y, Z)を用いた次の式①で定義されるものとする。軸対称非球面データを、コンストラクショナルデータと併せて示す。

【0024】

【数1】

【数2】

$$A = \sum_{i=0}^2 \left[\sum_{j=0}^B a_{i,j} \cdot |Y|^j \right] \cdot |Z|^i \dots \textcircled{5}$$

【0029】上記の拡張トーリック面は、基準Zトーリック面に2次元的な付加項A(Y, Z)を加えたものとして得られる。ここで、主走査断面における曲線を主曲線、副走査断面における曲線をプロファイル曲線とすると、K、Cはそれぞれ面頂点での主曲線方向、プロファイル曲線方向の曲率(正確には、それぞれ $K+2a_{0,2}$ 、 $C+2a_{2,0}$)を表し、つまり、 $1/K$:主曲線の面頂点曲率半径、 $1/C$:プロファイル曲線の曲率半径(主曲線の面頂点での副走査方向曲率半径)である。 μ 、 ϵ はそれぞれ主曲線方向、プロファイル曲線方向の2次曲線パラメータ(負のときは双曲線、ゼロのときは放物線、正のときは楕円、特に1のときは円)を表す。拡張トーリック面データを、コンストラクショナルデータと併せて示す。なお、 $1/S.C$ は拡張トーリック面の主曲線それぞれの曲率半径を表すデータである。

【0030】

$d5= 1.50000 \quad N3=1.57222 \quad \cdots$ シリンドリカルレンズ 3
 $s6 \quad r6= \infty$
 $d6= 48.00000$
 $s7 \quad r7= \infty$ (ポリゴンミラー 4 の反射面)
 $d7= 26.50000$
 $s8^* \quad r8= -34.29941$
 $d8= 6.40000 \quad N4=1.51882 \quad \cdots$ 第 1 走査レンズ 5
 $s9 \quad r9= -26.78200$
 $d9= 41.00000$
 $s10^* \quad r10=-250.51857$
 $d10= 6.40000 \quad N5=1.51882 \quad \cdots$ 第 2 走査レンズ 6
 $s11\# \quad r11= -26.90000$
 $d11=142.81700$
 $s12 \quad r12= \infty$ (像面, 被走査面 7)

【0 0 3 1】 [第 4 面 $s4$ の軸対称非球面データ]

$\epsilon = 1.00000000$
 $a4 = 0.81303417 \times 10^{-4}$
 $a6 = 0.59315963 \times 10^{-6}$
 $a8 = 0.35716518 \times 10^{-8}$
 $a10 = 0.28672133 \times 10^{-10}$

【0 0 3 2】 [第 8 面 $s8$ の軸対称非球面データ]

$\epsilon = 1.00000000$
 $a4 = -0.41506484 \times 10^{-5}$
 $a6 = 0.18915289 \times 10^{-8}$
 $a8 = -0.11239429 \times 10^{-10}$
 $a10 = -0.53049550 \times 10^{-14}$

【0 0 3 3】 [第 10 面 $s10$ の軸対称非球面データ]

$\epsilon = 1.00000000$
 $a4 = -0.22417944 \times 10^{-5}$
 $a6 = -0.70400379 \times 10^{-9}$
 $a8 = 0.14435986 \times 10^{-12}$
 $a10 = 0.93771515 \times 10^{-17}$

【0 0 3 4】 [第 11 面 $s11$ の拡張トーリック面データ]

$\epsilon = 1.00000000$
 $\mu = 1.00000000$
 $1/C = -26.90000086$
 $1/K = -2500.00000000$
 $1/S.C = 1499.99999250$
 $a0,2 = 0.36689521 \times 10^{-5}$
 $a0,4 = -0.28302010 \times 10^{-5}$
 $a0,6 = 0.17000000 \times 10^{-12}$
 $a0,8 = -0.21527274 \times 10^{-13}$
 $a2,2 = -0.18490749 \times 10^{-5}$
 $a2,4 = -0.18783576 \times 10^{-8}$
 $a2,6 = -0.10196364 \times 10^{-11}$
 $a2,8 = 0.41220444 \times 10^{-15}$

【0 0 3 5】 [第 4 面 $s4$ の平行偏心データ]

$ZP = 4.00000000$

【0 0 3 6】 [第 11 面 $s11$ の平行偏心・傾き偏心データ]

$ZP = -5.1051000$

$XQ = 0.9793289$ (傾き角度: 11.67°)

$ZQ = -0.2022745$ (傾き角度: 11.67°)

【0 0 3 7】 図 8 に、上記実施例の (A) 像面湾曲と (B) ボウ (Bow) を示す。図 8 (A) において、縦軸 (mm) はデフォーカス量 (すなわち光軸 AX 方向のずれ量)、横軸 (mm) は像高である。また、実線は主走査方向の像面湾曲、破線は副走査方向の像面湾曲を示している。図 8 (B) において、縦軸 (mm) は被走査面 7 上での副走査方向 (Z 軸方向) の高さ (つまり被走査面 7 と光軸 AX との交点が 0)、横軸 (mm) は像高である。図 8 から、実施例は像面湾曲、ボウ共に十分な性能を満たしていることが分かる。

【0 0 3 8】

【発明の効果】 以上説明したように、各光路が複数のビームのそれぞれに対応するように副走査方向に並んだ複数の拡張トーリック面で構成されるため、拡張トーリック面の相対的な位置誤差 (例えば取り付け誤差) が小さくなって、ビーム位置精度が高くなり、ビーム間隔が安定する。また、複数の拡張トーリック面が走査面に平行な面に対して対称な形状であるとともに、各拡張トーリック面の母線が走査面に垂直な方向にねじれているため、被走査面上でのビーム間隔を狭くすることができる。これにより、例えば感光体ドラムの回転ムラの影響によるピッチムラが発生しにくくなり、ボウの補正も可能となる。したがって、本発明によれば、ビーム間隔の狭い走査を良好かつ安定なビーム位置精度で行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 第 1 の実施の形態を備えた走査光学系の全体構成を示す斜視図。

【図 2】 第 1 の実施の形態を構成している第 2 走査レンズを示す斜視図。

【図 3】 第 1 の実施の形態を構成している第 2 走査レンズの副走査断面及び正面を示す図。

【図 4】 第 1 の実施の形態を備えた走査光学系の副走査

断面形状を示すレンズ構成図。

【図5】第2の実施の形態を備えた走査光学系の副走査断面形状を示すレンズ構成図。

【図6】第1の比較例を備えた走査光学系の副走査断面形状を示すレンズ構成図。

【図7】第2の比較例を備えた走査光学系の副走査断面形状を示すレンズ構成図。

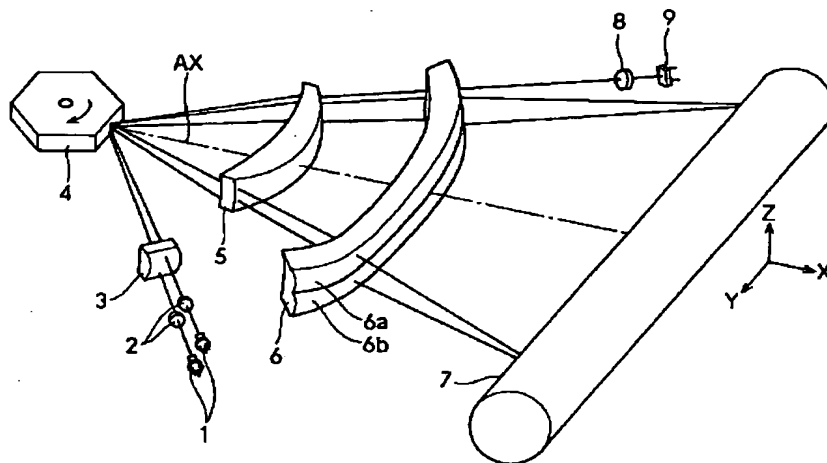
【図8】実施例の像面湾曲とボウを示す収差図。

【符号の説明】

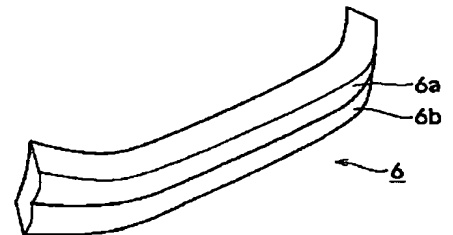
- 1 …レーザー光源
- 2 …集光レンズ
- 3 …シリンドリカルレンズ

- 4 …ポリゴンミラー
- 5 …第1走査レンズ(走査レンズ系の一部)
- 6 …第2走査レンズ(走査レンズ系の一部)
- 7 …被走査面(感光体ドラム)
- 8 …書き出し位置検出用のSOSレンズ
- 9 …書き出し位置検出用のSOSセンサ
- L …拡張トーリック面の境界線
- 6a …拡張トーリック面
- La …拡張トーリック面6aの母線
- 6b …拡張トーリック面
- Lb …拡張トーリック面6bの母線
- AX …第1走査レンズ5の光軸(軸対称面の軸)

【図1】

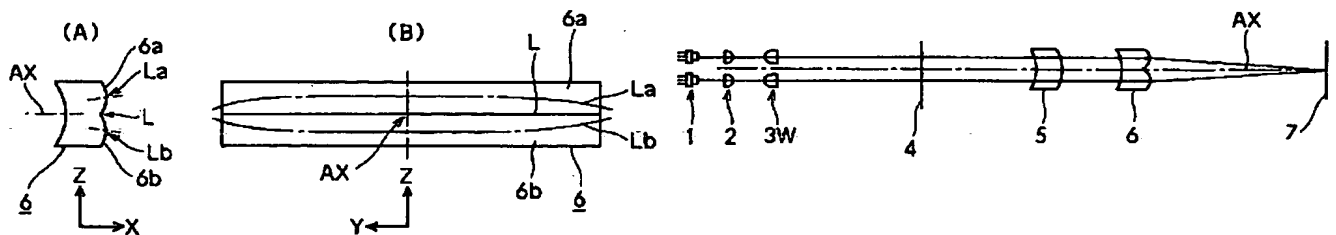


【図2】

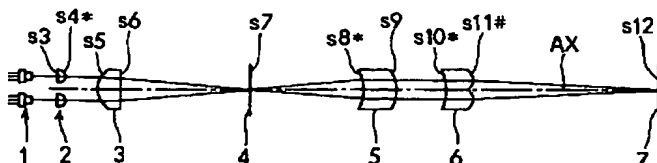


【図3】

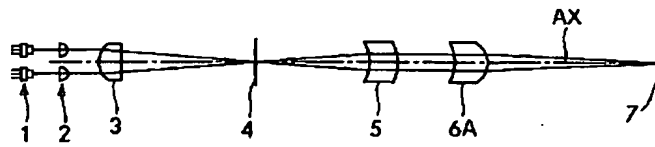
【図5】



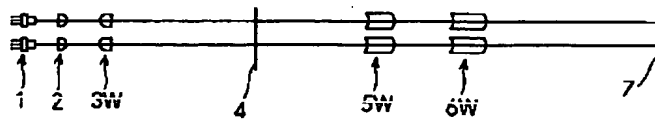
【図4】



【図6】

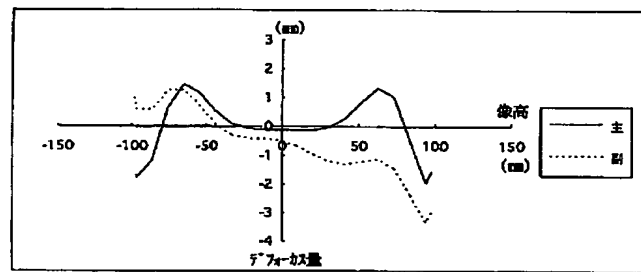


【図7】



【図8】

(A) 像面湾曲



(B) ボウ

